



SISTEMA PARA CONTAGEM DE PASSAGEIROS E DESCRIÇÃO DE MICRORROTAS EM TRANSPORTE COLETIVO

Palavras-Chave: Contagem de Passageiros, Microrrotas de Passageiros, Captura de Endereço MAC

Autores:

CAIO VINICIUS CASTRO DOS SANTOS – FEM/UNICAMP
Prof. Dr. MADSON CORTES DE ALMEIDA – FEEC/UNICAMP

INTRODUÇÃO

Este projeto é parte do “Laboratório Vivo de Mobilidade Elétrica para Transporte Coletivo na UNICAMP”, executado em uma parceria entre UNICAMP, ANEEL e CPFL, em que se propõe, de forma inovadora, desenvolver um laboratório vivo de mobilidade elétrica no sistema de transporte público da UNICAMP para investigação de impactos técnicos, econômicos e ambientais da inserção de ônibus elétricos em frotas de transporte urbano de massa, bem como desenvolver novas tecnologias para o transporte público coletivo em geral.

Desse modo, nesse trabalho de iniciação científica foi desenvolvido um sistema capaz de identificar o tráfego de entradas e saídas de pessoas em um ônibus, o que possibilita estimar a quantidade de passageiros a cada instante e o mapeamento das microrrotas dos usuários.

Para realizar esse monitoramento de tráfego, é feito um sensoriamento indireto das pessoas, através da sondagem de dispositivos móveis com conectividade Wi-Fi, em geral smartphones carregados pelos passageiros. Para isso, intercepta-se pacotes lançados pelos celulares em busca de roteadores, os quais contém os endereços MAC (*Media Access Control*) do emissor do pacote e que possibilitam a identificação e contagem desses dispositivos.

Assim, após um processo de filtragem, é possível ter uma estimativa do número de passageiros no veículo e identificar as origens e destinos. Além disso, os dados obtidos podem ser utilizados para trazer mais informações aos usuários do transporte público e para reformular trajetos e horários de partida dos ônibus.

METODOLOGIA

A parte física do sistema desenvolvido é composta basicamente por um microcontrolador com Wi-Fi do modelo ESP-WROOM-32 e um módulo GPS conectado a uma antena de 1575,42 MHz, como pode ser observado na Figura 1.

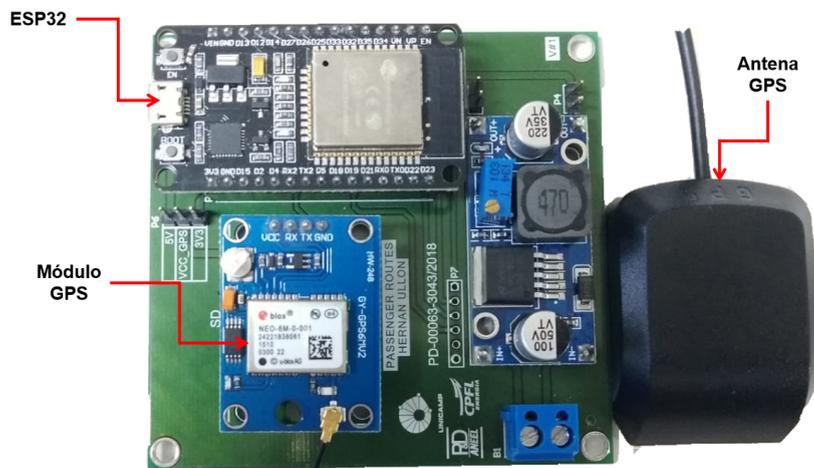


Figura 1. Hardware do sistema.

Dessa forma, a ESP32 é utilizada para capturar os endereços MAC de dispositivos próximos através da configuração de sua rede Wi-Fi para modo promíscuo, também conhecido como modo monitor, em que o microcontrolador passa a observar o tráfego de pacotes ao seu redor, porém fica impossibilitado de conectar-se a internet pelo Wi-Fi.

Além disso, em redes brasileiras, esses pacotes podem trafegar por até 13 canais na frequência de 2.4 GHz, a qual é foco de monitoramento neste projeto, pois nem todos os smartphones são capazes de se conectar a redes de 5 GHz. Desse modo, para cobrir todos os canais, a ESP32 é configurada para trocar o canal de monitoramento a cada 10 milissegundos.

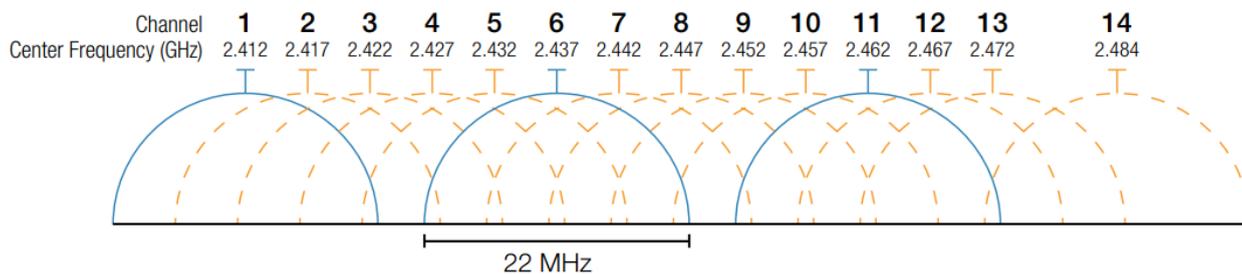


Figura 2. Distribuição dos canais na frequência 2.4 GHz (em geral, o canal 14 não é utilizado no Brasil).

Ademais, apenas a captura dos endereços MAC dentro dos pacotes não é suficiente para identificar passageiros de um ônibus em que o equipamento está instalado, também é necessário realizar um processo de filtragem para eliminar dispositivos alheios ao veículo. Primeiramente, observa-se o tipo de pacote recebido, pois existem diversos protocolos de comunicação que podem ser capturados pelo sistema, entretanto, somente aqueles do tipo *probe request* são interessantes para o projeto, pois são eles que dispositivos móveis lançam periodicamente em busca de novas redes para se conectar, pois procuram um sinal mais forte ou que seja conhecido, como um roteador em que o usuário já tenha colocado a senha anteriormente.

Feito isso, é preciso descartar dispositivos externos ao ônibus, o que é realizado por meio de análises do número de vezes em que o mesmo MAC foi detectado pelo sistema, do tempo entre essas detecções e da potência do sinal verificado pelo RSSI (*Received Signal Strength Indication*), informação que também está contida na *probe request* e permite o descarte de pacotes que relatam um sinal de conexão fraco, pois isto indica que o dispositivo está distante do ônibus e provavelmente não pertence a um passageiro.

Por fim, com uso do GPS, os dados que passam pela filtragem tem suas posições de primeira e última aparição anotadas em coordenadas de latitude e longitude, o que possibilita a observação de origens e destinos. Além disso, também é função do GPS identificar o ponto inicial e final da viagem, a fim de informar à ESP32 os momento de início e fim da contagem de passageiros, bem como possibilitar o envio de dados via Wi-Fi ao final da viagem, já que não é possível se conectar à internet durante o trajeto, pois a placa está em modo promíscuo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema desenvolvido foi replicado e instalado em dois ônibus da frota de circulares internos da UNICAMP: o “Circular 2 via FEC” e o “Circular Elétrico”, onde ficaram por aproximadamente 5 meses. Ao longo desse período também foram realizadas 74 contagens manuais, sendo 26 no “Circular 2” e 48 no “Circular Elétrico” para efeito de comparação com os dados obtidos pelo sistema em diferentes dias e horários.

Além disso, todos os dados de viagens coletados foram enviados para um servidor MQTT, no formato apresentado na Figura 3, o qual permite análise posterior da quantidade de pessoas dentro do ônibus durante a viagem e dos locais de embarque e desembarque dos passageiros.

```
_id: ObjectId("603e1b10fc374103de345f3a")
timestampI: 1617348656
timestampF: 1617350493
MAC: "5c: [REDACTED]:9c"
RSSI: -62
channel: 11
latitudeI: -22.815966
longitudeI: -47.072613
latitudeF: -22.816493
longitudeF: -47.072777
id: 0
```

Figura 3. Exemplo de dado recebido sobre um dispositivo identificado pelo sistema.

Assim, alguns resultados das viagens realizadas podem ser vistos na Tabela 1, a qual contém um comparativo entre o acumulado de passageiros em todo o percurso registrados manualmente e pelo sistema desenvolvido em um total de 12 viagens feitas nos dias 9, 10 e 24 de junho de 2021. Esses dados mostram que o sistema consegue ter uma boa performance nos circulares do *campus*, já que, definindo uma margem de erro de ± 2 passageiros, o valor estimado corresponde ao real em 10 das 12 viagens, um acerto de 83,3%.

Tabela 1. Comparação entre a contagem do sistema e a manual.

Dia	Horário de Partida	Contagem Manual	Contagem ESP32 (± 2)
09/06/2021	14:35	3	1
	15:05	5	2
	15:40	5	6
	16:40	3	5
10/06/2021	12:30	8	7
	13:10	10	6
	13:55	8	6
	14:35	5	6
24/06/2021	12:30	8	9
	13:10	3	5
	13:55	5	6
	14:35	2	2

Além disso, outra forma de interpretar os dados é pela diferença entre as médias dos valores calculados, os quais são 5,42 na contagem manual e 5,08 no valor apresentado pelo sistema, o que representa uma diferença absoluta de 0,34, isto é, 6,3% de erro médio entre os resultados acumulados apresentados, o que é tolerável para os objetivos do projeto.

CONCLUSÕES

A solução apresentada demonstra resultados muito interessantes, pois apresentou um erro de apenas 6,3% entre os valores de passageiros acumulados nas viagens analisadas, o que é bastante satisfatório para uma possível aplicação futura de disponibilização em tempo real desses dados aos usuários de transporte coletivo, já que é um erro desprezível caso o objetivo seja interpretar se o ônibus está lotado ou se haverá assentos disponíveis, por exemplo.

Além disso, a composição do sistema, que é basicamente um microcontrolador da família ESP32 conectado a um módulo GPS, facilita a replicação e é muito mais barata que outras soluções existentes no mercado, geralmente baseadas na utilização de câmeras.

Por fim, a identificação dos pontos de entrada e saída de cada passageiro mostra-se o diferencial desse sistema, pois esses dados tratados coletivamente, principalmente para manter a privacidade do cidadão, conseguem destacar as demandas dos usuários ao se observar os trajetos mais comuns, o que possibilita a criação de rotas mais eficientes para as necessidades da população.

BIBLIOGRAFIA

HANDTE, Marcus; FOELL, Stefan; WAGNER, Stephan; KORTUEM, Gerg; MARRÓN, Pedro. An Internet-of-Things Enabled Connected Navigation System for Urban Bus Riders. **IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL**, [S.L.], v. 3, p. 735-744, 2016.

OLIVEIRA, Luiz; SCHNEIDER, Daniel; SOUZA, Jano de; SHEN, Weiming. Mobile Device Detection Through WiFi Probe Request Analysis. **IEEE Access**, [S.L.], v. 7, p. 98579-98588, 2019.

PARADEDA, Diego; JUNIOR, Werner; CARLSON, Rodrigo. Estimativa De Embarque E Desembarque De Passageiros Por Detecção De Sinal De Wi-fi De Dispositivos Móveis. **32º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET**, Gramado, p. 988-1000, 2018.

TEKTRONIX. **Wi-Fi: Overview of the 802.11 Physical Layer and Transmitter Measurements**. 2016. Disponível em: <https://download.tek.com/document/37W-29447-2_LR.pdf>. Acesso em: 24 set. 2021.